

鲁钰雯, 翟国方, 周姝天, 等. 基于多源数据的城市火灾风险评估及应用——以厦门市为例[J]. 灾害学, 2019, 34(1): 215-221. [LU Yuwen, ZHAI Guofang and ZHOU Shutian, et al. Urban fire risk evaluation and empirical research based on multi-source data model: Case of Xiamen [J]. Journal of Catastrophology, 2019, 34(1): 215-221. doi: 10.3969/j.issn.1000-811X.2019.01.039.]

## 基于多源数据的城市火灾风险评估及应用 ——以厦门市为例\*

鲁钰雯<sup>1</sup>, 翟国方<sup>1</sup>, 周姝天<sup>1</sup>, 施益军<sup>2</sup>

(1. 南京大学 建筑与城市规划学院, 江苏 南京 210093; 2. 浙江农林大学 风景园林与建筑学院, 浙江 杭州 311300)

**摘要:** 在梳理城市火灾风险评估的概念和基本方法的基础上, 从城市区域特征、建筑特征、消防负荷等影响火灾风险的要素入手, 构建基于多源数据的城市火灾风险评估模型。以厦门市为实例, 通过 ArcGIS 软件对厦门市火灾风险进行评估, 从消防站可达范围、覆盖火灾风险等级和覆盖消防重点单位等方面综合评价城市消防应对和抵御能力, 并将火灾风险评估结果和消防抵御能力进行叠加分析, 从而提出消防站布局优化方案和消防重点地区管理策略。

**关键词:** 多源数据; 火灾; 风险评估; 防御能力; 空间分析; 布局优化; 厦门

**中图分类号:** X45; X913.4; TU998.1 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-811X(2019)01-0215-07

doi: 10.3969/j.issn.1000-811X.2019.01.039

自然灾害和人为灾害风险一直以来都是制约人类社会经济发展的重要因素。随着我国城镇化的不断发展, 人口、经济、基础设施和服务设施等资源要素不断向城市集中, 城市灾害风险逐渐增大。在各类灾害中, 火灾是自始至终会同人类的发展紧密联系起来的一种随机性与不确定性的灾害之一<sup>[1]</sup>, 《吕氏春秋·荡兵》中记载道, “火, 善用之则为福, 不善用之则为祸”, 从古至今, 火灾发生频率较高且极具毁灭性。在城市建设用地逐渐扩张、建筑密度增大和高层建筑不断增多的背景下, 我国城市火灾形势日趋严重, 城市火灾的威胁与危害逐年加剧。因此科学评估火灾风险、优化消防设施布局、积极采取相应抵御措施十分必要<sup>[2-3]</sup>。

作为复杂或重大事项决策的必要辅助手段, 风险评估和风险管理技术在安全领域得到了广泛的应用<sup>[4]</sup>。城市火灾风险评估为火灾风险管理决策提供了依据, 通过对火灾发生风险的影响因素进行分析评估, 可以预测一定区域内火灾发生的概率<sup>[5]</sup>。目前火灾风险评估在国外发达国家已经被广泛应用并有成熟的评估体系与规章制度。例如美国“灭火分级制”、“风险、建筑防火评估方法”及“危害和经济价值评估方法”, 英国“消防风

险评估工具箱”方法, 日本“城市等级”法等<sup>[6-8]</sup>。常用火灾风险评估主要有两种方法, 即统计分析法(基于历史灾害数据)和指标评估法(基于火灾风险评估体系)。统计分析研究方法的特点是根据该区域历史上发生火灾的记录, 采用定性预测、灰色预测及人工神经网络等科学方法预测该区域未来火灾发生概率和风险<sup>[9-10]</sup>。但随着气候变化和城市扩张, 历史数据及规律并不能精确预测未来的状况。指标评估法即针对某一区域建立一套适合该区域的火灾风险评价指标体系, 并确立体系中各级指标的权重, 然后根据评价区域内的实际情况逐项打分, 最终通过评估结果的高低判定火灾风险的程度<sup>[11-14]</sup>。目前, 国内常用的指标评估法包括模糊综合评价法、层次分析法、专家咨询法、故障树分析法、灰色关联法、主成分分析法、超越概率曲线法等<sup>[15-18]</sup>。越来越多的学者正在将火灾风险评估结果应用在消防布局优化研究上<sup>[19]</sup>, 将火灾风险评估结果与城市消防力量评估相结合可以对城市消防安全发展及消防力量布局优化提供一定科学依据。此外, 新数据模式下的互联网技术和地理信息技术的发展, 不仅为直观的量化分析方法提供了技术支持, 也为火灾风险评估研究提供了多源数据的研究环境<sup>[20]</sup>。

\* 收稿日期: 2018-06-11 修回日期: 2018-11-01

基金项目: 日本学术振兴会项目(18K03022); 江苏省社科基金重点项目(16JZA009)

第一作者简介: 鲁钰雯(1994-), 女, 河南信阳人, 博士研究生, 研究方向为城市灾害与公共安全、城市与区域规划。

E-mail: yuwen\_lu@smail.nju.edu.cn

通讯作者: 翟国方(1964-), 男, 江苏江阴人, 博士研究生导师, 研究方向为城市与区域规划、城市灾害风险综合评估、空间规划与城市安全。E-mail: guofang\_zhai@nju.edu.cn

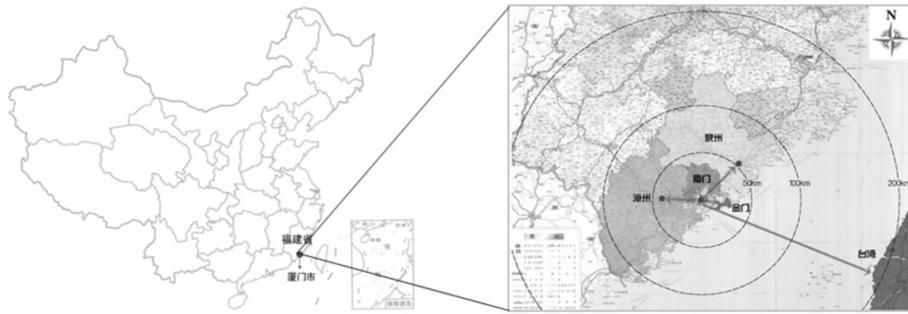


图1 厦门市区位图

本研究构建了基于多源数据的城市火灾风险评估模型,充分运用规划、经济、社会等方面的多源数据,将传统数据与新兴数据相结合,一定程度上提升了风险评估的准确性。以厦门市为实证案例,以街道为研究基本单元,在 ArcGIS 软件中综合测度厦门市城市火灾风险及消防抵御能力,本文提出的研究方法,一方面扩充了城市火灾风险的定量评估方法,另一方面也为我国城市消防规划及安全发展提供了借鉴和参考。

## 1 研究区概况及数据来源

### 1.1 研究区概况

厦门位于福建省东南沿海,作为福建省对外连接的重要位置,经济与社会的战略地位极为重要(图1)。厦门市由厦门岛、鼓浪屿及内陆沿海地区组成。随着近年来社会经济的发展、快速的城市规模及人口扩张,厦门市火灾次数有所增加,对城市安全和居民生活带来了一定的影响。根据《厦门市“十三五”消防事业发展规划》及厦门消防部门近十年(2007-2016年)的统计数据可知,随着厦门城市建成区的不断拓展,火灾警情数量有一定幅度的增加,造成了一定人员伤亡和经济损失<sup>[21]</sup>。火灾警情数据如图2所示,其中厦门本岛发生火灾次数最多,湖里区和思明区火灾警情数占火灾警情总数的59.05%。

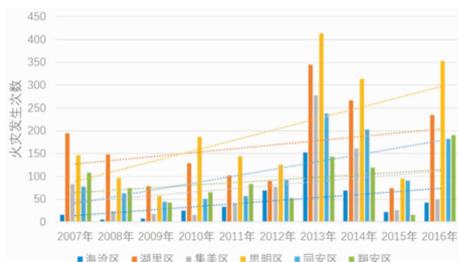


图2 厦门市历年各区火灾发生次数

### 1.2 数据来源及处理

数据采集和数据库的建立是风险评估的基础。本研究构建了包括传统数据和新兴数据在内的多源数据火灾风险数据库(表1)。以厦门市各个街道为研究基本单元,依托 ArcGIS 软件对数据进行配准和格式转换。

## 2 厦门市火灾风险及消防力量评估

根据火灾风险在空间上的分布情况可以科学有效地评估城市消防安全现状,城市火灾风险评估和城市消防力量评估的叠加分析能够较为直观地发现现有消防布局存在的问题,为城市消防设施布局提供一定科学依据,更有效保障城市安全有序发展,研究框架如图3所示。在数据采集及处理的基础上,构建火灾风险评估模型得出火灾风险结果,并进行可视化。在模拟消防站可达覆盖范围、覆盖火灾等级和覆盖消防安全重点单位等结果后,基于火灾风险与消防力量评估结果的叠加分析,提出相应的消防布局优化策略。

### 2.1 城市火灾风险因素识别与评估方法构建

在本文中,通过对各类影响火灾发生风险的因素进行分析,整理出以下对厦门市火灾风险影响较大的因素:①人口密度及地均 GDP 数据等社会经济因素对区域火灾发生危害的影响较大,人口密集的居住地区及经济水平较高的区域其发生火灾后威胁的人口数量较大,经济损失较大。此外,消防安全用地的等级也应该纳入评估体系,重点消防地区存在的火灾风险高;②建筑老旧的地区火灾隐患较大,容易发生火灾风险。高层建筑的消防灭火有效性较差,对区域火灾危险性的影响较大。根据国家相关标准,本文所研究的高层建筑指建筑层数超过9层(24m)的建筑;③区域内部的消防负荷可以一定程度上反映发生火灾的概率。人员密集场所即为容易造成群死群伤火灾的单位和场所。易燃易爆设施及场所容易发生火灾,且火灾发生后影响范围较大。消防安全重点单位发生火灾可能性较大,且可能造成重大的人身伤亡或者财产损失。通过3大类8小类的风险因素分析,构建厦门市火灾风险评估体系(图4)。

通过对目前常用的风险评估方法进行对比可以发现,层次分析法能统一处理指标体系中的影响因素,实用性较强,且操作简单,多用于具体风险的评估,如火灾风险评估、技术项目风险评估、工程成本风险评估等<sup>[25]</sup>。因此本研究使用专家打分法和层次分析法相结合的方式确定火灾风险影响因素的权重。首先将8类火灾影响因素的权重作为决策目标,基于各因素的重要性(对火灾风险的影响程度)进行两两对比打分。判断矩

表 1 主要数据来源及应用数据名称

数据名称	数据描述	数据应用
人口密度	统计资料	单位面积土地上居住的人口数 区域特征风险评估
地均 GDP	统计资料	单位面积土地创造的 GDP 区域特征风险评估
消防安全用地级别	规划部门提供资料	城市建设用地分类 消防安全空间分区
建筑年代	遥感影像	不同建筑的建成年代 建筑特征风险评估
建筑层数	互联网地图	建筑的层数数据 建筑特征风险评估
易燃易爆设施	《厦门市危险化学品安全生产管理手册》 <sup>[22]</sup>	名称、地址、坐标 消防负荷风险评估
消防安全重点单位	厦门消防网公开资料 <sup>[23]</sup>	名称、地址、坐标 消防负荷风险评估
人员密集场所	厦门消防网公开资料	名称、地址、坐标 消防负荷风险评估
消防站点数据	《厦门市城市总体规划(2011 - 2020 年)》 <sup>[24]</sup> 及消防支队提供数据	名称、地址、级别及坐标 构建网络分析
道路网络数据	规划部门提供资料	包含道路等级的道路中心线 构建网络分析
行政区划边界数据	规划部门提供资料	包含行政区划名称和边界线的多边形 确定行政区划

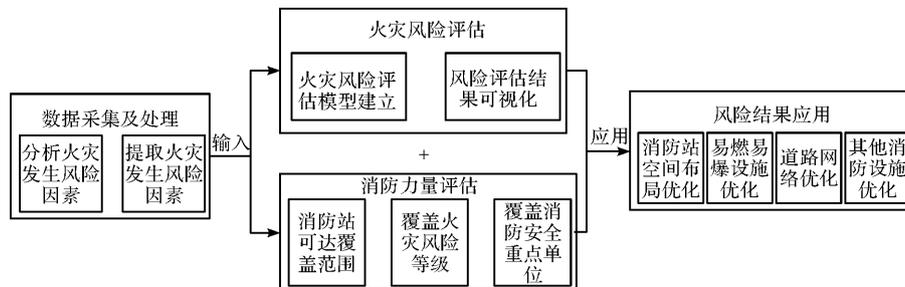


图 3 研究框架

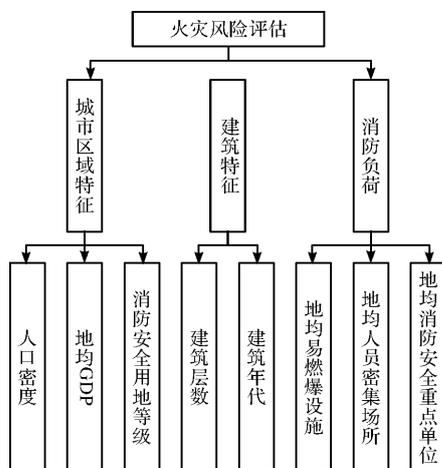


图 4 城市火灾风险评估框架

阵指标的值反映了专家对火灾影响因素重要性的认识及评价。选择 1~9 及其倒数的标度方法构造判断矩阵, 将总权重值设为 1, 求出各因子层指标权重, 并进行判断矩阵的一致性检验。第二步将以上因子层结果进行累加得到最后的评估分数,

公式如下所示:

$$W = \sum_{i=1}^8 R_i A_i \quad (1)$$

式中:  $W$  为火灾风险评估分数;  $R$  为火灾风险因子层评估分数;  $A$  为各因子层对应的权重。

### 2.2 城市火灾风险评估结果

将以上风险因素的空间数据在 ArcGIS 软件中进行处理后, 得到各因子层风险评估结果, 并统一将以上火灾影响因子的评价指标值进行无量纲化为 1~5 五个等级, 即高风险、较高风险、中风险、较低风险及低风险, 因子层可视化结果如图 5 所示。评估结果如下: ①本岛在人口密度方面的风险较大, 湖里区的人口最为密集, 思明区人口密度较大, 该区域发生火灾后容易产生较大人员伤亡, 而集美区、海沧区、同安区、翔安区相对人口密度较低, 特别是同安区、翔安区; ②地均国内生产总值等级越高的区域, 遭遇火灾时所受的损失可能就越大。思明区地均国内生产总值最高, 风险最高, 湖里区次之, 同安区最小; ③湖里区、海沧区及集美区部分区域消防安全重点区域面积占比较大, 火灾发生后产生的影响较大, 因

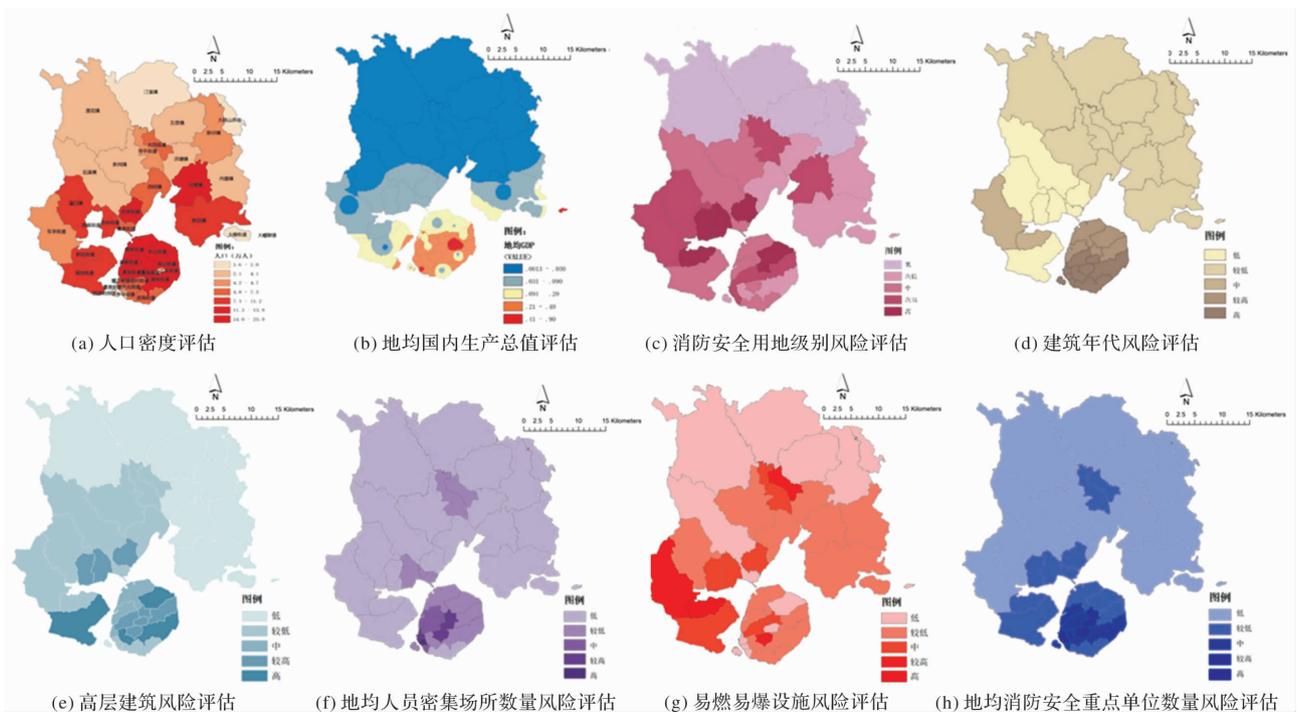


图5 因子层火灾风险评估结果

此火灾风险较高；④根据厦门市不同时期的遥感图分析可得出近40年城市建设用地的拓展过程，近似推定各区建筑年代，可知思明区、湖里区、海沧区建筑年代较早，建筑状况较差，火灾事故隐患较大；翔安区、同安区、集美区建筑年代相对较晚，建筑质量相对较好，火灾事故隐患较小。⑤从地均高层建筑数量来看，本岛莲前街道、禾山街道和岛外海沧街道高层建筑密度较高，存在较高风险；⑥从地均人员密集场所分布来看，本岛老城区密度较大，火灾发生风险较大；⑦从易燃易爆场所数量和分布来看，岛内梧村街道及岛外海沧、大同街道的消防负荷较大；⑧从地均消防安全重点单位来看，岛内中心城区密度较大，火灾发生带来的潜在损失较大。

将火灾风险评估结果划分为五个等级，分别表示该城市区域的火灾风险为高、较高、中、较低、低。这样，火灾风险评估结果就可以通过计算各街道不同因子层的评估分值叠加结果获得，并建立与火灾风险等级的相对应关系。厦门市火灾风险评估结果如图6所示，岛内湖里区和思明区、岛外海沧区风险等级处于相对较高水平。其中，高火灾风险区域为位于本岛老城区的嘉莲街道、夏港街道，主要由人口密度大、消防安全重点地区面积大、建筑质量较差、消防负荷较大等原因综合造成的。火灾风险等级较高的区域为岛内湖里、禾山、江头、梧村、莲前、鹭江街道，以及岛外新阳、海沧、侨英及杏林街道。岛外火灾风险较高的地区主要是由于消防安全重点单位、易燃易爆设施较多，且消防安全用地级别较高。

### 2.3 城市消防力量评估

城市火灾抵御能力对城市安全发展十分重要，

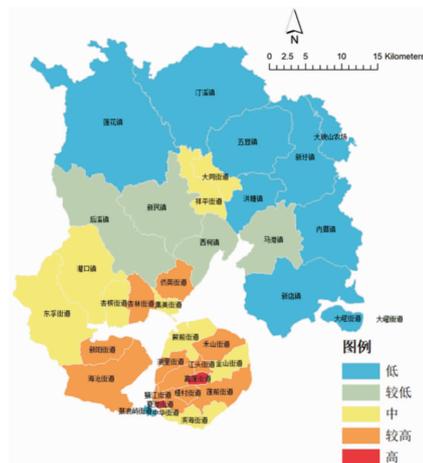


图6 现状火灾风险评估结果

作为火灾抵御的主体，科学、合理的消防力量布局是城市安全运行、持续发展的前提。现有的消防站可达性研究较多以消防站的责任区范围的面积为衡量指标，忽视了消防车出警实际路线的通达性和城市火灾风险空间分布情况。为了将城市道路通达性的影响也纳入城市消防力量评估，本研究综合考虑消防应急响应时间在不同城市等级道路上的分配组合，从而计算出沿着城市现状及规划道路网络行进的消防站空间可达范围。目前，国内外空间可达性计算运用较多的方法包括缓冲分析法、邻近距离法、引力模型法、行进成本法和网络分析法等，缓冲分析模型和邻近成本模型未考虑实际通行环境对可达性的影响，引力模型结果分析缺少明确标准，行进成本模型中阻力的表达缺乏统一的标准且主观性较强，网络分析模

型能够较好解决现实道路网络和网络模型的拟合问题, 将城市实际道路网络结构对消防站可达性的影响纳入了考虑<sup>[26]</sup>。因此本研究选取网络分析法(Network Analysis)模拟消防站可达性, 该方法多用于最佳资源分配、最短路径以及服务区构建, 能够与后期的消防站布局优化和辖区确定更好地衔接<sup>[27]</sup>。

根据《城市消防站建设标准(修订)》的要求, 城市消防站须在起火后 15 min 内到达现场并进行扑救, 消防响应时间如表 2 所示, 标准中指出应保证城市规划区内消防站辖区范围能覆盖整个城市建设区域, 消防车以接到出发指令后 5 min 内即可以到达辖区边缘<sup>[28]</sup>。因此, 本研究将消防车 5 min 消防响应时间内的可达范围作为消防站及时有效扑救城市火灾的空间范围, 即以消防车 5 min 出警可达范围(响应 1 min, 实际行车时间 4 min)对现状及规划消防力量进行评估。

表 2 5 min 消防响应到达时间的由来(15 min 消防时间)

序号	消防响应时间/min	步骤
1	4.0	发现起火
2	2.5	报警与出警
3	1.0	接到指令出发
4	4.0	行车到场
5	3.5	出水扑救

### (1) 消防站可达覆盖范围

《厦门市城市总体规划 2011 - 2020》中提出, 厦门市现状消防站存在责任区范围过大, 担负的灭火任务过重等问题, 岛外的部分消防站与责任区内大部分的距离超过规定的 5 min 行车路程<sup>[24]</sup>。因此对现状及规划消防站 5 min 出警覆盖的服务区域进行可达性模拟, 并与消防安全用地进行叠加分析, 能够发现现存消防布局问题, 并对优化消防站布局有重要意义。对比发现, 现状消防站 5 min 出警覆盖范围不能完全覆盖城市建成区域, 规划远期消防站在一定的应急响应时间之内, 基本能够覆盖城市消防安全重点区域, 能够有效保障责任区消防安全, 且岛内岛外的消防力量趋于平衡, 能够较大程度提升城市消防安全水平(图 7、图 8)。

### (2) 覆盖火灾风险等级

通过对火灾风险等级的空间分布高低与消防站可达范围进行叠加分析, 可以较为直观地了解城市火灾风险分布与城市消防力量的空间匹配程度, 因此消防站 5 min 出警可达范围所覆盖的风险等级指标较为重要。在空间上将火灾发生风险的分布情况和消防车 5 min 出警覆盖范围进行叠加分析, 如图 9 及图 10 所示。可以看出, 规划后消防站能够全部覆盖火灾高风险区域, 基本覆盖火灾较高风险区域, 有较好的优化效果。

### (3) 覆盖易燃易爆设施

快速城镇化背景下, 城市建设面积逐步扩张, 原本位于城市边缘的易燃易爆设施逐步被城市建设用地包围, 成为城市中不稳定的“致命炸弹”。因此对消防站 5 min 可达范围是否能够较好覆盖危

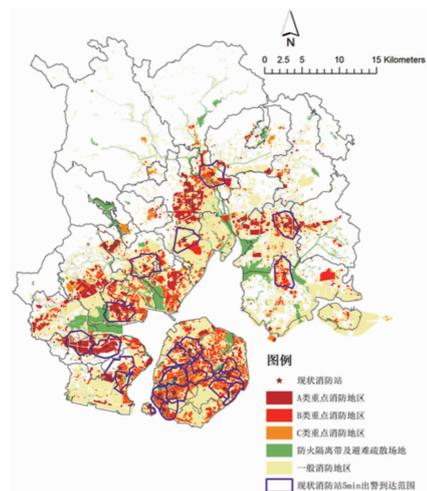


图 7 现状消防站 5 min 可达覆盖范围

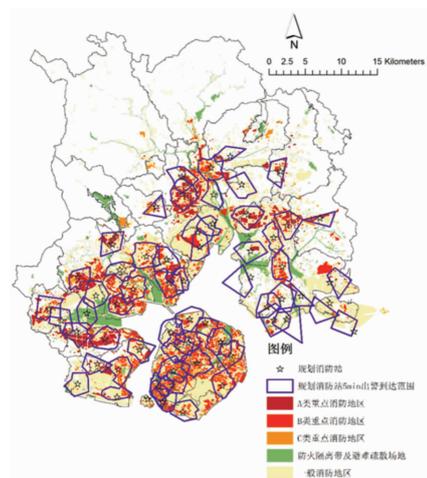


图 8 规划消防站 5 min 可达覆盖范围

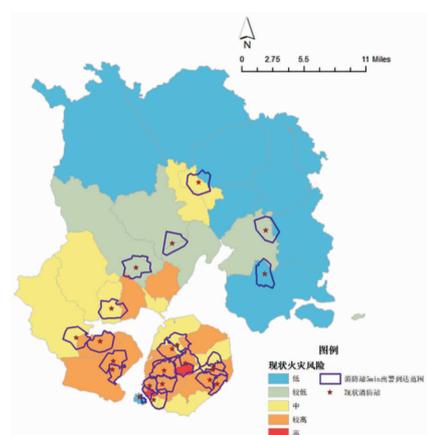


图 9 现状消防布局力量与火灾风险对比分析

化仓储、危化企业等易燃易爆设施进行分析十分重要。将现状及规划消防站 5 min 出警可达覆盖范围与现状易燃易爆设施分布进行叠加分析, 结果如图 11 及图 12 所示。规划情境下, 消防站 5 min 出警可达范围基本可以覆盖城区中的易燃易爆设施, 布局优化后, 消防站可达范围对易燃易爆设

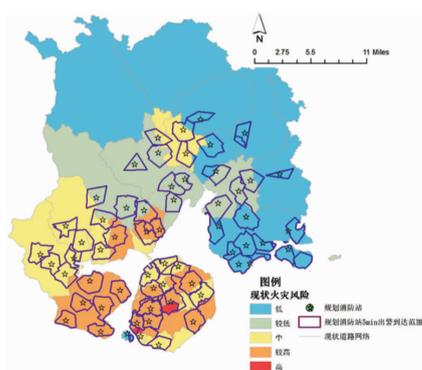


图10 规划消防布局力量与火灾风险对比分析

施的覆盖能力有较大提升,可以满足城市安全有序发展要求。

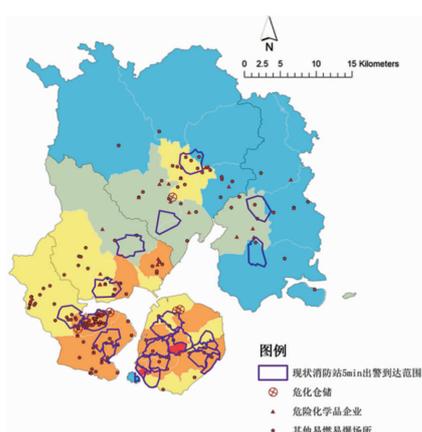


图11 现状消防站覆盖易燃易爆设施

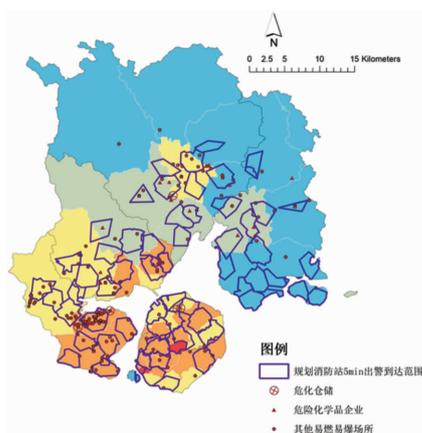


图12 规划消防站覆盖易燃易爆设施

### 3 厦门市城市空间布局优化建议

根据城市火灾风险评估结果和城市消防能力的空间匹配程度,主要对城市消防设施、易燃易爆设施、道路网络及其他设施的空间布局进行优化与提升。

#### 3.1 消防站空间布局优化建议

通过对现状火灾发生风险和消防站可达范围

的对比分析,明确现状及规划消防现状存在问题和近期消防工作的重点,对消防站布局规划进行优化。将消防站5 min出警不可达的、且位于火灾较高风险的区域作为城市消防重点建设区域,优先进行消防站的新增和优化。值得注意的是,对于城市消防重点安全地区(现状中的A类及B类消防安全重点区域),消防站辖区不仅要满足规范中要求的辖区范围标准(一级消防站辖区面积7 km<sup>2</sup>,二级消防站辖区4 km<sup>2</sup>),还要满足消防车出警5 min可达的要求<sup>[28]</sup>。此外,还应完善多种形式的消防力量建设,例如志愿消防队和微型消防站。在未来消防站布局规划中,可以通过设定消防站布局优化的约束条件,生成消防网络拓扑模型,进而初步生成消防站辖区并根据实际情况进行修正。

#### 3.2 易燃易爆设施空间布局优化建议

对易燃易爆等设施进行合理、科学的布局规划,能够尽量避免城市火灾危险,提高城市安全水平。首先,根据消防站可达范围与易燃易爆设施分布的综合分析,对位于火灾风险较高区域,且对城市安全威胁较大的企业或设施实施立即搬迁或拆迁,减少其对城市安全的影响。其次,在难以搬迁的情况下需进行消防安全改造并定期进行消防检查,控制防火安全距离,并在远期规划中对于此类设施纳入考虑,进行搬迁或拆除。

#### 3.3 道路网络优化建议

消防车沿着城市实际道路网络行进,因此道路网络环境是消防站出警可达的基础,提升道路网络的连通性对提升消防站可达性有积极影响。在现状和规划消防站5分钟出警不可达的区域可增设城市道路或消防应急车道,提高消防车通行能力。在道路网络连通性较难改变的老城区,可以通过开辟消防专用道、改善道路通行环境及设施等方式,保障消防车的顺利通行。

#### 3.4 其他消防设施优化建议

城中村、棚户区和历史名城等老城区建筑密度大、基础设施差,应重点加强该区域的消防设施,并纳入城市公共基础设施体系进行建设和优化。改善老城区消防安全条件的具体措施包括:增设小型消防站、开辟防火隔离带、增设消火栓和消防水池、优化城市供水管道、整顿违章乱建、改造老城区用电线路及优化老旧建筑的耐火等级等。

## 4 结语

在城市建设用地逐步扩张、建筑密度逐渐增大的背景下,城市消防安全问题不容忽视。本文构建了基于多源数据的城市火灾风险评估体系,在传统数据的基础上增添城市新兴数据,通过综合考虑不同火灾发生风险的影响程度,建立GIS评价模型,将风险评估结果与现状及规划情景下的消防力量评估结果进行空间上的匹配分析,为之后厦门市消防规划布局及城市安全发展提供科

学依据。此外, 本研究所提出的评估方法不仅有利于促进厦门市消防资源配置的优化、提升区域消防安全和城市的可持续发展, 也可为其他城市和地区科学评估城市火灾风险、提升消防效率、提高城市安全水平提供分析方法上的参考和优化策略上的借鉴。

## 参考文献:

- [1] 范维澄, 孙金华, 陆守香, 等. 火灾风险评估方法学[M]. 北京: 科学出版社, 2004.
- [2] 吴启鸿. 火灾形势的严峻性与学科建设的迫切性[J]. 消防科学与技术, 2005, 24(4): 145-152.
- [3] 伍爱友, 肖国清, 蔡康旭. 基于模糊识别的建筑物火灾危险性评价方法[J]. 中国安全科学学报, 2004, 14(5): 72-75.
- [4] Thomas F, Barry P E. Risk - in formed, performance - based industrial fire protection[M]. Tennessee Valley Publishing, 2002.
- [5] 杜霞, 张欣, 刘庭全, 等. 国外区域火灾风险评估技术及应用现状[J]. 消防科学与技术, 2004, 23(2): 137-139.
- [6] Insurance Services Office. The Fire Suppression Schedule[M]. New York: ISO Press, 1999: 20-25.
- [7] 连旦军. 城市区域火灾风险评估综述[J]. 消防科学与技术, 2004, 23(2): 44-48.
- [8] USFA. Information on the Risk[J]. Hazard and Value Evaluation, 1999(4): 33-37.
- [9] 彭晨. 消防响应时间统计规律及其与城市火灾规模相关性研究[D]. 合肥: 中国科学技术大学, 2010.
- [10] 李炳华. 基于模糊信息优化处理的城市火灾风险分析方法研究[D]. 合肥: 中国科学技术大学, 2010.
- [11] 易立新. 城市火灾风险评估的指标体系设计[J]. 灾害学, 2000, 15(4): 91-95.
- [12] 李杰, 宋建学. 城市火灾危险性分析[J]. 自然灾害学报, 1995(2): 98-103.
- [13] 李华军, 梅宁, 程晓舫. 城市火灾危险性模糊综合评估[J]. 火灾科学, 1995(1): 44-50.
- [14] 张一先, 卞志浩. 苏州古城区火灾危险性分级初探[J]. 消防技术与产品信息, 2003(2): 10-12.
- [15] 陈国良, 胡锐, 卫广昭. 北京市火灾风险综合评估指标体系研究[J]. 中国安全科学学报, 2007, 17(7): 119-124.
- [16] WU X T, WU L P. Evaluation of the fire emergency rescue capability in urban community[J]. Procedia Engineering, 2011, 11(11): 536-540.
- [17] 李引擎, 毛小雷. 城市建筑火灾损失与防火安全水平的评价[J]. 建筑科学, 1998(6): 9-15, 30.
- [18] 陈志芬, 陈晋, 黄崇福, 等. 大型公共场所火灾风险评价指标体系(II) - 指标及其权重确定[J]. 自然灾害学报, 2006, 15(2): 164-168.
- [19] 曾爱军. 区域火灾风险评估与灭火救援力量布局优化研究[D]. 上海: 同济大学, 2006.
- [20] 张昌文, 夏成华, 钟少波. 城市火灾风险区划中的 GIS 应用框架[J]. 消防科学与技术, 2012, 31(11): 1233-1237.
- [21] 厦门市人民政府办公厅. 厦门市人民政府办公厅关于印发厦门市“十三五”消防事业发展规划的通知[EB/OL]. [2018-05-01]. [http://www.xm.gov.cn/zwgk/flfg/sfbwj/201705/t20170523\\_1674932.htm](http://www.xm.gov.cn/zwgk/flfg/sfbwj/201705/t20170523_1674932.htm).
- [22] 厦门市安全生产监督管理局. 厦门市危险化学品安全生产管理手册[Z]. 厦门: 厦门市安全生产监督管理局, 2017.
- [23] 厦门消防支队. 消防支队关于调整确定市一、二级消防安全重点单位及火灾高危单位的公告[EB/OL]. [2018-05-01]. <http://www.fire.gov.cn/showXinxi.aspx?id=30790>.
- [24] 厦门市城市规划设计研究院. 厦门市城市总体规划(2011-2020年)[Z]. 厦门: 厦门市城市规划设计研究院, 2016.
- [25] 谭波, 吴超. 2000-2010年安全行为学研究进展及其分析[J]. 中国安全科学学报, 2011, 21(12): 17-26.
- [26] Nicholls S. Measuring the accessibility and equity of public parks: a case study using GIS[J]. Managing Leisure, 2001, 6(4): 201-219.
- [27] 宋小冬, 钮心毅. 地理信息系统实习教程: ArcGIS 10 for desktop[M]. 北京: 科学出版社, 2013.
- [28] 中华人民共和国公安部. 城市消防站建设标准(修订)[Z]. 北京: 中国计划出版社, 2006.

## Urban Fire Risk Evaluation and Empirical Research Based on Multi-Source Data Model: Case of Xiamen

LU Yuwen, ZHAI guofang, ZHOU shutian and SHI yijun

(School of Architecture and Urban Planning, Nanjing University, Nanjing 210093, China)

**Abstract:** With the rapid development of urban social economy, as one of the important guarantee in urban security system, the construction of fire safety system is becoming increasingly important for the urban safety development. As an important part of the fire prevention works, fire risk assessment and prevention practice are quite necessary. On the basis of combing the concept and basic methods of urban fire risk assessment, this paper puts forward the urban area characteristics, architectural features, fire load and other factors affecting the fire risk, and constructs a model of the urban fire risk assessment. Taking Xiamen as an example, this paper evaluates the fire risk of Xiamen by ArcGIS software, and comprehensively evaluates the urban firefighting capacity from the fire station accessibility, the cross response, the level of covering fire risk and Fire key unit coverage, so as to optimize the layout of the fire station and the management strategy in the key areas.

**Key words:** multi-source data; fire; risk assessment; defense capability; spatial analysis; layout optimization; Xiamen